

## **Rancang Bangun Alat Kalibrasi Sensor Oksigen (O<sub>2</sub>)**

**Nama Mahasiswa** : Fatkhur Rohman  
**NRP** : 2109100063  
**Jurusan** : Teknik Mesin ITS  
**Dosen Pembimbing** : Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

### **ABSTRAK**

*Salah satu sensor yang digunakan dalam teknologi fuel injection adalah sensor oksigen. Seperti alat ukur lainnya, sensor oksigen bisa mengalami penurunan kemampuan pembacaan. Jika hal ini terjadi maka tegangan yang dikirim sensor oksigen ke ECU tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal ini dapat menyebabkan performa mesin menurun. Untuk mengetahui kemampuan pembacaan sensor oksigen maka suatu alat diperlukan untuk mengkalibrasi sensor oksigen.*

*Perancangan dan pembuatan alat kalibrasi sensor oksigen didasarkan pada kadar oksigen dari perhitungan gas ideal dengan prinsip volume tetap. Dengan mengukur nilai tekanan dan temperatur gas campuran nitrogen dan oksigen dalam tabung kalibrasi, maka kadar oksigen dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan gas ideal.*

*Pada penelitian ini telah berhasil dibuat alat kalibrasi sensor oksigen yang memiliki kapasitas pengukuran 0-22 % oksigen. Alat kalibrasi sensor oksigen memiliki tekanan operasi 1,5 bar dan temperatur operasi 27-29°C. Dari validasi yang dilakukan pada alat kalibrasi, diperoleh penyimpangan pembacaan 0,438 dengan kecermatan 6,34 %.*

**Kata Kunci** : Sensor oksigen, nitrogen, kalibrasi, rancang bangun

## **Design Construction The Oxygen (O<sub>2</sub>) Sensor Calibration Tool**

**Name : Fatkhur Rohman**  
**Number of Register : 2109100063**  
**Department : Mechanical Engineering**  
**Academic Supervisor : Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D**  
**Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT**

*One of the sensors used in fuel injection technology is oxygen sensor. Similiar with other measuring devices, reading ability of the oxygen sensor declined. It gives different voltageto the ECU. This difference make the engine performance decreased. To determine the reading ability of the oxygen sensor, special tool is required to calibrate the oxygen sensor.*

*Designing of the oxygen sensor calibration tool based on the precentage of oxygen in fixed volume with the ideal gas formulation. The precentage of oxygen can be determined by measuring presssure and temperature of the gas mixture of nitrogen and oxygen in the calibration can.*

*This study has been successfully designed the oxygen sensor calibration tool which have measuring capacity 0-22% oxygen. This oxygen sensor calibration tool have operation pressure 1,5 bar and operation temperature 27-29°C. Based on the results of validation found the deviation value is 0,438 and the precision value is 6,34%.*

*Keyword : The oxygen sensor, nitrogen, calibration, design construction*

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Beberapa penelitian terkait sistem pembacaan kadar gas oksigen telah dilakukan sebelumnya. Penelitian yang telah dilakukan oleh Argo (2008) menyebutkan bahwa, prinsip kerja dari penelitian tersebut adalah melakukan pembacaan kadar oksigen dan kadar karbondioksida di dalam ruang penyimpanan dengan memasang sensor dan mengirimkan data tersebut ke komputer melalui mikrokontroler. [1]

Pada penelitian yang sama proses kalibrasi sensor oksigen juga dilakukan. Kalibrasi sensor oksigen dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu menggunakan prinsip tekanan berubah dengan volume konstan dan menggunakan prinsip tekanan tetap dengan volume berubah.

Prinsip tekanan berubah dengan volume konstan dilakukan dengan cara memvakumkan toples hingga tekanan vakum yang diinginkan. Selanjutnya memasukkan nitrogen hingga tekanan 1 atmosfer dan mencatat kadar oksigen yang tertinggal. Sedangkan prinsip tekanan tetap dengan volume berubah dilakukan dengan memasukkan gas oksigen dan nitrogen dengan perbandingan konsentrasi yang berbeda dengan menggunakan suntikan. Dengan perbandingan konsentrasi yang berbeda maka kadar oksigen dapat diketahui.

Pada rangkaian ini, kemampuan sensor kadar oksigen maksimum 5,8% dan karbondioksida 3%. Hal ini dikarenakan penguatan ADC hanya sampai pada angka tersebut. Untuk memperbaiki kinerja alat, sensor perlu dikalibrasi ulang atau mengganti rangkaian penguat.

## 2.2 Pengukuran

Pengukuran dapat didefinisikan sebagai serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan nilai suatu besaran dalam bentuk angka (kuantitatif). Jadi mengukur adalah suatu proses mengaitkan angka secara empirik dan obyektif pada sifat-sifat obyek atau kejadian nyata sehingga angka yang diperoleh tersebut dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai obyek atau kejadian yang diukur [2].

Dalam proses pengukuran, terdapat kesalahan yang dapat mempengaruhi hasil akhir pengukuran. Kesalahan pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- Penyimpangan yang bersumber dari alat ukur
- Penyimpangan yang bersumber dari benda ukur
- Posisi pengukuran yang menimbulkan penyimpangan
- Penyimpangan akibat pengaruh lingkungan

## 2.3 Kalibrasi Alat Ukur

Pengertian kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Dengan kata lain, kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur (*traceable*) ke standar nasional untuk satuan ukuran dan/atau internasional [3].

Manfaat kalibrasi adalah untuk mendukung sistem mutu yang diterapkan di berbagai industri pada peralatan laboratorium dan produksi yang dimiliki. Dengan melakukan

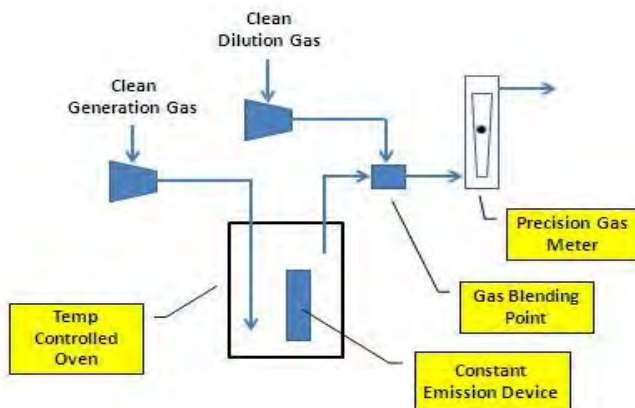
kalibrasi, seberapa jauh perbedaan (penyimpangan) antara *true value* dengan harga yang ditunjukkan oleh alat ukur dapat diketahui.

## 2.4 Metode Kalibrasi Pengukuran Gas

### a. Permeation Tube Method

Untuk memperoleh data analitis yang baik tentang pengukuran gas diperlukan metode yang handal. Salah satu metode pengukuran gas dengan tingkat akurasi yang tinggi adalah dengan metode *permeation tube* [4].

Prinsip dasar metode *permeation tube* dilustrasikan seperti gambar 2.1 :

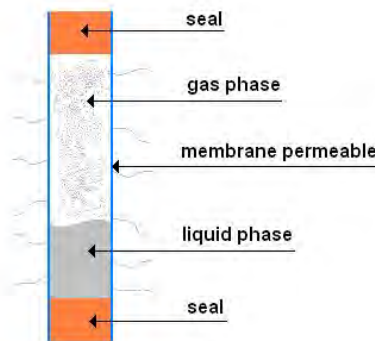


Gambar 2.1 Pengukuran gas dengan metode *permeation tube* [4].

Gas yang dimurnikan dimasukkan ke dalam oven suhu terkontrol dimana perangkat emisi konstan melepaskan senyawa pada laju konstan. Gas ini kemudian diencerkan dengan penambahan gas yang dimurnikan. Jumlah total gas yang mengalir diukur dengan alat ukur konsentrasi gas. Dengan mengetahui

jumlah senyawa yang dipancarkan dari perangkat emisi konstan dan aliran gas yang tepat, konsentrasi gas dari senyawa dapat dihitung. Dengan memvariasikan jumlah gas dilusi, berbagai konsentrasi dapat dihasilkan. Rentang standar dapat digunakan untuk membuat kurva kalibrasi untuk berbagai jenis instrumen. Teknik ini dapat diterapkan untuk hampir semua senyawa yang merupakan cairan yang mudah menguap pada suhu oven ( bisa diatas suhu ruangan yang normal ).

Perangkat emisi konstan dapat menjadi *permeation tube* atau perangkat difusi. Sebuah *permeation tube* adalah sepotong pipa pendek permeabel yang sebagian diisi dengan senyawa cairan murni dan ditutup di ujungnya. Sebuah perangkat *permeation tube* ditunjukkan pada Gambar 2.2 di bawah ini:

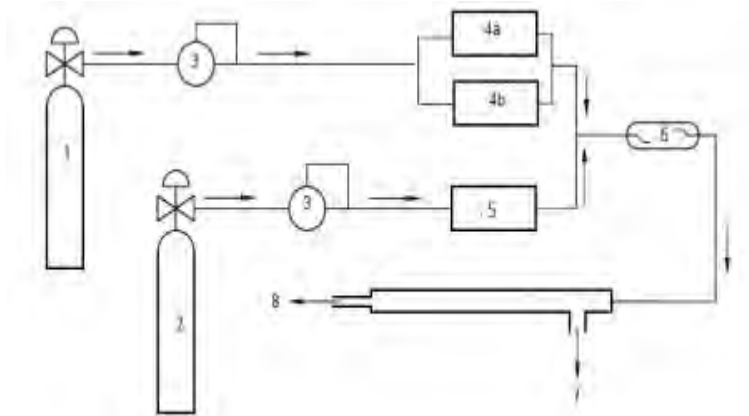


Gambar 2.2 Perangkat *permeation tube* [4].

Tabung permeasi biasanya memiliki tingkat permeasi cukup rendah. Hal ini biasanya di kisaran hanya beberapa mg / menit atau kurang . Oleh karena itu, tabung permeasi paling baik diterapkan ketika rentang kalibrasi di jangkauan ppb atau ppm rendah.

### b. Metode *Dynamic Dilution*

Salah satu metode pengukuran gas yang lain adalah Metode *Dynamic Dilution*. Gambar 2.3 adalah contoh instalasi pengukuran gas dengan metode *dynamic dilution*.



Gambar 2.3 Instalasi pengukuran gas dengan metode *dynamic dilution* [5].

Keterangan gambar :

- |  |   |
|--|---|
| 1. <i>Span gas</i>                                 | 5. <i>Dilution gas mass flow controller</i> |
| 2. <i>Dilution gas ( Udara atau N<sub>2</sub>)</i> | 6. <i>Mixing camera</i>                     |
| 3. <i>Pressure regulator</i>                       | 7. <i>Exit to the analyzers</i>             |
| 4. <i>Span gas mass flow controller</i>            | 8. <i>Exhaust</i>                           |

Prinsip kerja dari metode *dynamic dilution* adalah mencampurkan *span gas* dan *dilution gas* sebagai gas pembanding. *Span gas* dan *dilution gas* dicampurkan dalam *mixing camera*. Setelah gas tersebut tercampur,

gas mengalir menuju *analyzer* dan sebagian menuju *exhaust*.

Metode *dynamic dilution* disebutkan memiliki beberapa kelebihan secara teknik, namun metode *dynamic dilution* memiliki jangkauan ketidakpastian lebih besar.

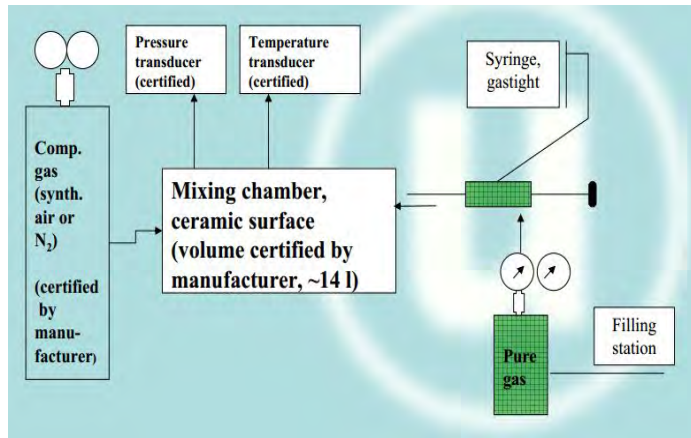
### **c. Gas Cylinder**

Metode *gas cylinder* adalah metode dengan tingkat akurasi 95-99%, tergantung pada jenis gas dan konsentrasi gas. Pada beberapa campuran, konsentrasi spesifik mengandalkan metode yang digunakan oleh *supplier*. Pada kasus terburuk berkaitan dengan nilai kalibrasi dari pabrikan yang berbeda ditentukan oleh dua teknik analitis, seperti hidrokarbon dengan FID atau infra merah detektor. Dalam kasus ini, perbedaan antara teknik analitis dapat terjadi 10-20% ketidaksesuaian [6]. Sebagian gas silinder yang tersedia secara komersial hanya mampu bertahan 2-3 minggu atau kurang [7]. Sebagai aturan praktis, sedikitnya 200 psi gas diperlukan dalam silinder kalibrasi untuk kalibrasi yang akurat.

### **d. Static Dilution**

Selain metode diatas, pengukuran gas dapat dilakukan dengan metode *static dilution*. Meski keakuratan data hasil pengukuran 90-97%, namun metode ini adalah metode paling efisien dan mudah dikerjakan [8]. Secara garis besar, *static dilution* dapat digambarkan seperti pada gambar 2.4.





Gambar 2.4 Instalasi pengukuran gas dengan metode *static dilution* [8].

Prinsip kerja dari metode ini adalah mencampurkan gas yang akan diukur dengan gas pembanding, misalnya nitrogen. Nitrogen dimasukkan ke dalam tabung pencampuran atau *mixing chamber*. Kemudian gas dimasukkan dengan menggunakan alat bantu suntikan sebagai fungsi *control volume*. *Pressure transmitter* dan *temperature transducer* mengukur tekanan dan temperatur yang ada di dalam *mixing chamber*. Setelah itu, masukkan kembali gas dengan menggunakan suntikan. Selanjutnya adalah mencatat tekanan dan temperatur yang terukur. Pengambilan data dilakukan beberapa kali sampai diperoleh data yang cukup.

## 2.5 Perbandingan Beberapa Metode Kalibrasi

Perbandingan beberapa metode kalibrasi pengukuran gas yang sudah ada secara garis besar dapat dilihat pada tabel 2.1. [9]

Tabel 2.1. Perbandingan metode kalibrasi.

Method	Typical Accuracy (%)	Precision	Range	Cost	Ease of Use
Permeation tubes	97-99 <sup>a</sup>	Good	ppb to low ppm	Moderate	Difficult
Gas cylinder <sup>b</sup>	95-99	±1% to 2%	ppm to %	Moderate	Easy
Dynamic dilution of pure gas or higher concentration	93-97 <sup>c</sup>	±3%	% to ppm	Moderate	Moderately easy
Static dilution	90-97 <sup>d</sup>	±3% to 10%	ppm to %	Inexpensive	Easy

Source: Becker, J. H., et al. Instrument calibration with toxic and hazardous materials, *Ind. Hyg. News*, July 1983.

<sup>a</sup> Depends on good temperature control, balance accuracy, and flow rate.

<sup>b</sup> Data from manufacturer's literature: refers to analyzed standards only.

<sup>c</sup> Includes inaccuracies in calibration gas plus flow rate.

<sup>d</sup> Depends on analyst's technique.

Dari Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa *permeation tube* memiliki tingkat akurasi dan ketelitian yang tinggi. Penggunaan *permeation tube* kurang disarankan dari segi biaya dan kemudahan penggunaan karena biaya yang dibutuhkan lumayan mahal dan sulit dioperasikan. *Gas cylinder* juga memiliki akurasi dan ketepatan yang tinggi. *Gas cylinder* mempunyai tingkat akurasi 95-99% dan ketelitian 1-2%. *Dynamic dilution* memiliki tingkat akurasi 93-97% dan ketelitian 3%. Dengan biaya yang lumayan mahal dan penggunaan yang lumayan susah, maka *dynamic dilution* kurang disarankan. *Static dilution* memiliki tingkat akurasi 90-97% dan ketelitian 3-10%. Meski akurasi lebih rendah dibandingkan dengan metode lain, namun biaya yang dibutuhkan tidak mahal dan mudah dalam penggunaan. Tingkat akurasi 90-97% dirasa masih *acceptable*.

## 2.6 Hukum-Hukum tentang Gas

Teori kinetik gas membahas hubungan antara besaran-besaran yang menentukan keadaan suatu gas. Jika gas yang diamati berada di dalam ruangan tertutup, besaran-besaran yang menentukan keadaan gas tersebut adalah volume ( $V$ ), tekanan ( $p$ ), dan temperatur gas ( $T$ ). Tidak ada gas yang betul-betul memenuhi hukum-hukum gas secara sempurna akan tetapi dari hasil-hasil penelitian ada beberapa gas yang mendekati gas sempurna. Konsep hukum-hukum gas ini yang mendasari persamaan gas ideal. Diantara hukum-hukum tersebut adalah [10]:

### a. Hukum Boyle

Apabila volume gas dinaikkan atau diturunkan pada kondisi temperatur tetap, maka tekanan absolut gas akan berubah berbanding terbalik dengan dengan perubahan volume. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut [10]:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

2.1

dimana :

$P_1$  = Tekanan absolut awal gas

$P_2$  = Tekanan absolut akhir gas

$V_1$  = Volume awal gas

$V_2$  = Volume akhir gas

### b. Hukum Charles

Apabila energi disuplai pada gas dengan kondisi dimana tekanan dipertahankan konstan, maka perubahan volume akan berbanding lurus dengan perubahan temperatur absolut. Secara matematis dapat dirumuskan [10]:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

2.2

dimana:  $T_1$  = Temperatur absolut awal gas  
 $T_2$  = Temperatur absolut akhir gas  
 $V_1$  = Volume awal gas  
 $V_2$  = Volume akhir gas

### c. Hukum Boyle-Charles

Dari kedua hukum tentang gas diatas apabila dikombinasikan maka akan terbentuk hukum baru yang menjelaskan bahwa perkalian antara tekanan absolut dan volume lalu dibagi dengan temperatur absolut selalu konstan. Persamaan matematis dari Hukum Boyle-Charles dinyatakan dengan persamaan berikut [10]:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

2.3

dimana:  $P_1$  = Tekanan absolut awal  
 $P_2$  = Tekanan absolut akhir  
 $V_1$  = Volume awal  
 $V_2$  = Volume akhir  
 $T_1$  = Temperatur absolut awal  
 $T_2$  = Temperatur absolut akhir

### d. Hukum Dalton

Komponen-komponen individual partikel gas tidak memberikan tekanan campuran melainkan tekanan parsial. Tekanan campuran merupakan jumlah tekanan parsial tiap-tiap gas yang ada dalam campuran. Dalam hal

ini Dalton menyatakan bahwa tekanan akhir dari campuran tersebut adalah merupakan penjumlahan dari tekanan masing-masing gas [11]. Hukum ini didasarkan pada anggapan bahwa:

1. Gas-gas tersebut tidak akan mempunyai suatu aksi atau proses kimia, gas yang satu terhadap gas yang lain melainkan akan membentuk suatu campuran gas.
2. Temperatur gas akan konstan untuk seluruhnya.

Secara matematis hukum Dalton dapat dirumuskan [11]:

$$P_A = \frac{n_A \bar{R} T}{V} \quad 2.4$$

$$P_B = \frac{n_B \bar{R} T}{V} \quad 2.5$$

$$P = P_A + P_B = \frac{(n_A + n_B) \bar{R} T}{V} \quad 2.6$$

## 2.7 Persamaan Gas Ideal

Persamaan gas ideal didapatkan dari kombinasi hukum-hukum gas. Dari tiga hubungan antar tekanan, temperatur, dan volume dapat diturunkan menjadi persamaan gas ideal [11]. Secara matematis persamaan gas ideal dapat dirumuskan:

$$P V = n \bar{R} T \quad 2.7$$

dengan:  $n$  = jumlah mol gas,  
 $\bar{R}$  = tetapan umum gas =  $8,31 \times 10^3$  J/kmolK  
 (SI) =  $8,31$  J/molK,  
 $p$  = tekanan ( $\text{N/m}^2$ ),  
 $V$  = volume ( $\text{m}^3$ ), dan  
 $T$  = temperatur (K).  
 dengan  $n = \frac{m}{Mr}$  maka persamaan 2.7 dapat  
 ditulis:

$$P V = \frac{m}{Mr} \bar{R} T \quad 2.8$$

Menurut prinsip Avogadro, satu mol gas mengandung jumlah molekul gas yang sama. Jumlah molekul gas ini dinyatakan dengan bilangan Avogadro ( $N_A$ ) yang besarnya sama dengan  $6,02 \times 10^{23}$  molekul/mol. Dengan demikian, Persamaan dapat dinyatakan menjadi:

$$P V = \frac{N}{N_A} \bar{R} T \quad 2.9$$

dengan:  $N$  = Banyak partikel gas, dan  
 $N_A$  = Bilangan avogadro =  $6,02 \times 10^{23}$  molekul/mol  
 $= 6,02 \times 10^{26}$  molekul/kmol

## 2.8 Karakteristik Gas Oksigen dan Nitrogen

### 2.8.1 Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. O ksigen merupakan unsur

golongan kalkogen dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya (utamanya menjadi oksida). Pada Temperatur dan tekanan standar, dua atom unsur ini berikatan menjadi dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus  $O_2$  yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta berdasarkan massa dan unsur paling melimpah di kerak Bumi. Gas oksigen diatomik mengisi 20,9% volume atmosfer bumi.

Pada temperatur dan tekanan standar, oksigen berupa gas tak berwarna dan tak berasa dengan rumus kimia  $O_2$ , di mana dua atom oksigen secara kimiawi berikatan dengan konfigurasi elektron triplet spin. Ikatan ini memiliki orde ikatan dua dan sering dijelaskan secara sederhana sebagai ikatan ganda ataupun sebagai kombinasi satu ikatan dua elektron dengan dua ikatan tiga elektron.

Oksigen mengembun pada 90,20 K ( $-182,95^\circ\text{C}$ ,  $-297,31^\circ\text{F}$ ), dan membeku pada 54.36 K ( $-218,79^\circ\text{C}$ ,  $-361,82^\circ\text{F}$ ). Baik oksigen cair dan oksigen padat berwarna biru langit. Hal ini dikarenakan oleh penyerapan warna merah. Oksigen cair dengan kadar kemurnian yang tinggi biasanya didapatkan dengan distilasi bertingkat udara cair; Oksigen cair juga dapat dihasilkan dari pengembunan udara, menggunakan nitrogen cair dengan pendingin. Oksigen merupakan zat yang sangat reaktif dan harus dipisahkan dari bahan-bahan yang mudah terbakar

### 2.8.2 Nitrogen

Nitrogen atau zat lemas adalah unsur kimia dalam tabel sistem periodik unsur yang memiliki



lambang N dan nomor atom 7. Biasanya ditemukan sebagai gas tanpa warna, tanpa bau, tanpa rasa dan merupakan gas diatomik bukan logam yang stabil, sangat sulit bereaksi dengan unsur atau senyawa lainnya. Dinamakan zat lemas karena zat ini bersifat malas, tidak aktif bereaksi dengan unsur lainnya.

Nitrogen mengisi 78,08 persen atmosfer Bumi dan terdapat dalam banyak jaringan hidup. Zat lemas membentuk banyak senyawa penting seperti asam amino, amoniak, asam nitrat, dan sianida.

Nitrogen adalah zat non logam, dengan elektronegatifitas 3.0. Mempunyai 5 elektron di kulit terluarnya. Ikatan rangkap tiga dalam molekul gas nitrogen ( $N_2$ ) adalah yang terkuat. Nitrogen mengembun pada suhu 77K ( $-196^{\circ}C$ ) pada tekanan atmosfer dan membeku pada suhu 63K ( $-210^{\circ}C$ ). Perbandingan karakteristik oksigen dan nitrogen dapat dilihat pada tabel 2.2.



Tabel 2.2 Karakteristik Oksigen dan Nitrogen

Karakteristik	Oksigen	Nitrogen
<b>Ciri-ciri umum</b>		
<b>Nama, lambang, No mor atom</b>	oxygen, O, 8	nitrogen, N, 7
<b>Jenis unsur</b>	nonlogam, kalkogen	nonlogam
<b>Golongan, periode, blok</b>	16, 2, p	15, 2, p
<b>Massa atom standar</b>	15.9994(3)	14.0067(2)
<b>Konfigurasi elektron</b>	$1s^2 2s^2 2p^4$ 2, 6 8: Oxygen 	$1s^2 2s^2 2p^3$ 2, 5 7: Nitrogen 

## 2.9 Standar Pengujian Tabung Bertekanan

Salah satu pengujian yang digunakan di Indonesia adalah SNI 1452:2007[12]. Di dalam standar tersebut, beberapa pengujian seperti di bawah ini dilakukan untuk menjamin bahwa tabung bertekanan dalam kondisi memenuhi syarat. Standar ini digunakan pada tabung LPG dimana tabung tersebut mempunyai tekanan rencana sebesar  $18,6 \text{ kg/cm}^2$ .

### 2.9.1. Uji Tampak

Setiap permukaan tabung LPG tidak boleh ada cacat atau kurang sempurna dalam pengerjaannya yang dapat mengurangi kekuatan dan keamanan dalam

penggunaanya, seperti: luka gores, penyok, dan perubahan bentuk. Batas penolakan jika kedalaman penyok melebihi 25% dari lebar sepanjang area/ point.

### **2.9.2 Uji Kebocoran**

Tabung yang telah dilengkapi dengan katup harus kedap udara/tidak boleh bocor pada tekanan udara sebesar  $18,6 \text{ kg/cm}^2$ .

### **2.9.3 Uji Ekspansi Volumetrik**

Tabung ditekan dengan tekanan sebesar  $31 \text{ kg/cm}^2$  selama 30 detik. Ekspansi volume tetap yang terjadi tidak boleh lebih besar dari  $1/5000$  volume awal. Tidak boleh terjadi kebocoran dan tampak perubahan bentuk.

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

Penyusunan langkah-langkah yang sistematis dan terstruktur diperlukan dalam untuk mempermudah alur penelitian. Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Lapangan  
Pada tahap studi literatur dilakukan kajian mengenai alat kalibrasi sensor oksigen yang mendukung untuk penyelesaian permasalahan dalam tugas akhir ini. Studi literatur mengenai perancangan alat kalibrasi sensor yang sudah ada melalui buku, jurnal, maupun video. Selain itu juga dipelajari mengenai karakteristik gas oksigen dan nitrogen.
2. Perumusan Masalah  
Hasil dari studi literatur dan lapangan kemudian dirumuskan menjadi masalah yang akan dibahas pada penelitian.
3. Perancangan Instalasi Alat Kalibrasi  
Pada tahap ini dilakukan perancangan instalasi alat kalibrasi sensor oksigen serta menentukan mekanisme alat tersebut bekerja.
4. Pembuatan Alat Kalibrasi  
Setelah dibuat rancangan instalasi alat kalibrasi, langkah selanjutnya adalah pembuatan alat kalibrasi. Pembuatan instalasi alat kalibrasi meliputi pemasangan komponen, perakitan, dan pembuatan pemrograman sebagai sistem kontrolnya.
5. Pengujian Alat Kalibrasi  
Pengujian alat kalibrasi bertujuan untuk memastikan apakah semua komponen alat kalibrasi dapat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian tabung kalibrasi

dilakukan dengan memberikan tekanan pada tabung kalibrasi tanpa kebocoran.

6. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pengambilan data dilakukan dengan pencatatan nilai parameter-parameter yang berpengaruh terhadap pembacaan sensor oksigen. Pengambilan data dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan prosedur pengambilan data yang paling kecil nilai penyimpangannya sehingga diperoleh nilai kalibrasi yang mendekati nilai sesungguhnya.

7. Validasi Alat Kalibrasi

Validasi alat kalibrasi dilakukan dengan membandingkan alat yang telah dibuat dengan alat ukur kadar oksigen yang memiliki ketelitian lebih baik dan tersertifikasi..

8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berisi tentang data pengujian alat kalibrasi yang mengindikasikan kelayakan alat kalibrasi untuk dapat digunakan. Kesimpulan juga berisi tentang spesifikasi alat kalibrasi sensor oksigen yang telah dibuat. Saran diberikan untuk mendukung pengembangan alat kalibrasi sensor selanjutnya.

Langkah-langkah penelitian tersebut dapat digambarkan pada diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

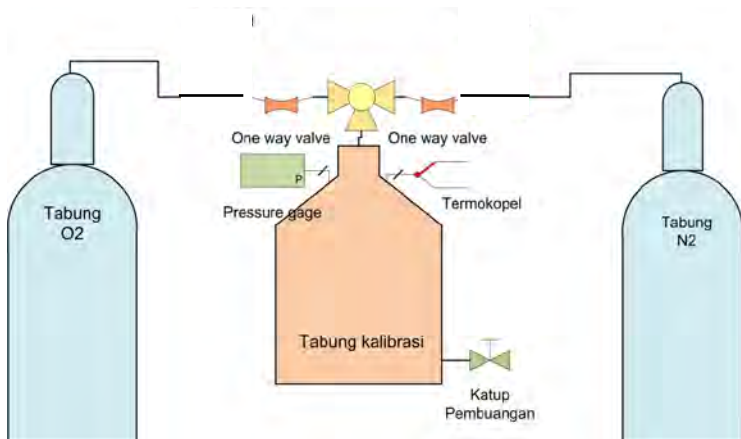
*Halaman sengaja dikosongkan*

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Perancangan Sistem Peralatan Kalibrasi

#### 4.1.1 Rancangan Instalasi Peralatan

Pada penelitian rancang bangun alat kalibrasi, instalasi peralatan alat kalibrasi akan dirancang seperti gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rancangan Instalasi Peralatan

Mekanisme kerja alat kalibrasi sensor oksigen diawali dengan memasukkan gas dari tabung nitrogen dan oksigen ke tabung kalibrasi. Untuk mengantisipasi gas keluar kembali, tabung kalibrasi dilengkapi dengan *one-way valve*. Prinsip kerja *one-way valve* hanya dapat beroperasi untuk aliran satu arah. Setelah gas dimasukkan, maka nilai tekanan dan temperatur dapat diketahui melalui *pressure gauge* dan termokopel.

#### 4.1.2 Kapasitas dan Tekanan Operasi

Penentuan kapasitas pengukuran diperlukan sebelum alat kalibrasi sensor oksigen dibuat. Kapasitas pengukuran adalah kemampuan maksimal kadar oksigen yang dapat diukur oleh alat kalibrasi. Kapasitas pengukuran disesuaikan dengan kebutuhan alat yang akan dikalibrasi. Pada penelitian ini sensor oksigen yang akan dikalibrasi adalah sensor oksigen Figaro tipe KE-25 yang memiliki range pengukuran kadar oksigen 0-100%. Kapasitas tekanan maksimum yang dimiliki sensor oksigen Figaro KE-25 adalah 1,5 bar. Maka tekanan operasi pada alat kalibrasi sensor oksigen adalah 1,5 bar.

Penentuan tekanan operasi ini dijadikan acuan dalam pemilihan komponen-komponen penyusun alat kalibrasi sensor oksigen. Kapasitas tekanan yang dapat diberikan pada sistem tidak hanya melihat kapasitas maksimum yang dapat diterima tabung kalibrasi saja melainkan juga mempertimbangkan kapasitas tekanan komponen yang lain. Setiap komponen pada rancang bangun alat kalibrasi ini memiliki kapasitas tekanan yang berbeda. Tabel 4.1 adalah tabel pemenuhan kebutuhan komponen alat kalibrasi berdasarkan spesifikasi kapasitas tekanan yang dapat diterima oleh setiap komponen.

Tabel 4.1 Kapasitas tekanan tiap komponen

No	Nama Komponen	Spesifikasi Tekanan	Sesuai Kebutuhan Tekanan Operasi
1	Tabung Kalibrasi	23 bar	√
2	<i>Pressure Gauge</i>	4 bar	√
3	<i>One-way Valve</i>	6 bar	√



### 4.1.3 Kapasitas Pengukuran

Kapasitas pengukuran presentase oksigen pada alat kalibrasi sensor oksigen dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$P V = n \bar{R} T$$

$n$  = jumlah mol gas,

$\bar{R}$  = tetapan umum gas =  $8,31 \times 10^3$  J/kmolK (SI)

= 8,31 J/molK,

$P$  = tekanan (N/m<sup>2</sup>),

$V$  = volume (m<sup>3</sup>), dan

$T$  = temperatur (K).

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } P_1 &= 1,0 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,0 \times 0,986923) \\ &= 1,986923 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$T_1 = 27,6^\circ\text{C} = 300,75 \text{ K}$$

$$V = 0,01398 \text{ m}^3$$

$$\bar{R} = \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK,}$$

$$\begin{aligned} P_1 V &= n \bar{R} T \\ 1,986923 \text{ N/m}^2 \cdot 0,01398 \text{ m}^3 &= n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 300,75 \text{ K} \\ n_{\text{nitrogen}} &= 0,0000111142 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= 1,5 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,5 \times 0,986923) \\ &= 2,4803845 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$T_2 = 27,6^\circ\text{C} = 300,75 \text{ K}$$

$$V = 0,01398 \text{ m}^3$$

$$\bar{R} = \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK,}$$

$$\begin{aligned} P_2 V &= n \bar{R} T_2 \\ 2,4803845 \text{ N/m}^2 \cdot 0,01398 \text{ m}^3 &= n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 300,75 \text{ K} \\ n_{\text{total}} &= 0,0000138745 \text{ mol} \end{aligned}$$

Karena gas dalam tabung kalibrasi merupakan campuran nitrogen dan oksigen, maka  $n$  adalah jumlah mol campuran oksigen dan nitrogen.

$$\begin{aligned}n_{\text{oksigen}} &= n_{\text{total}} - n_{\text{nitrogen}} \\n_{\text{oksigen}} &= 0,0000138745 \text{ mol} - 0,0000111142 \text{ mol} \\n_{\text{oksigen}} &= 0,0000027603 \text{ mol}\end{aligned}$$

Jika jumlah mol oksigen dan nitrogen diketahui maka massa nitrogen dan oksigen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan  $n = \frac{m}{Mr}$

Dimana :  $m$  = massa gas

$Mr$  = massa relatif

Sehingga massa oksigen dan nitrogen dapat dihitung

$$\begin{aligned}\text{Diketahui: } n_{\text{nitrogen}} &= 0,0000111142 \text{ mol} \\Mr &= 14\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= n \cdot Mr \\m &= 0,0000111142 \text{ mol} \times 14 \\m &= 0,0001555988 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diketahui: } n_{\text{oksigen}} &= 0,0000027603 \text{ mol} \\Mr &= 16\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= n \cdot Mr \\m &= 0,0000027603 \text{ mol} \times 16 \\m &= 0,0000441648 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar oksigen} &= \frac{m_{\text{oksigen}}}{m_{\text{oksigen}} + m_{\text{nitrogen}}} \\&= \frac{0,0000441648}{0,0000441648 + 0,0001555988}\end{aligned}$$

$$= 0,2210$$


$$= 22,10 \%$$

Jadi kapasitas pengukuran alat kalibrasi sensor oksigen ini adalah 22 %.

#### 4.2 Komponen-Komponen yang Dibutuhkan

Proses pembuatan alat kalibrasi sensor oksigen ini memerlukan beberapa komponen. Komponen-komponen yang digunakan memiliki spesifikasi seperti pada tabel berikut ini.

##### 1. Tabung Nitrogen

Fungsi	Tabung nitrogen digunakan untuk menyuplai nitrogen ke dalam tabung kalibrasi. Tabung nitrogen dilengkapi dengan regulator yang berfungsi untuk mengatur bukaan <i>valve</i> .
Volume	1 m <sup>3</sup> (terkompresi)
Tekanan Maksimum	250 bar
Gambar	


Alasan pemilihan komponen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tabung nitrogen memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga memudahkan dalam penggunaan.</li> <li>- Harga lebih murah dibandingkan tabung nitrogen yang memiliki ukuran yang lebih besar.</li> </ul>
---------------------------	---

## 2. Tabung Oksigen

Fungsi	Tabung nitrogen digunakan untuk menyuplai nitrogen ke dalam tabung kalibrasi. Tabung nitrogen dilengkapi dengan regulator yang berfungsi untuk mengatur bukaan <i>valve</i> .
Volume	1 m <sup>3</sup> (terkompresi)
Tekanan Maksimum	250 bar
Gambar	
Alasan pemilihan komponen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tabung nitrogen memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga memudahkan dalam penggunaan.</li> <li>- Harga lebih murah dibandingkan tabung nitrogen yang memiliki ukuran yang lebih besar.</li> <li>- Alasan penggunaan nitrogen sebagai gas</li> </ul>

	campuran adalah nitrogen memiliki massa jenis yang hampir sama dengan oksigen sehingga mudah tercampur dengan oksigen.
--	--

### 3. Tabung Kalibrasi


Fungsi	Tabung kalibrasi adalah tempat pencampuran oksigen dan nitrogen.
Jenis tabung	Tabung refrijeran
Kapasitas Tekanan	23 bar
Volume	0,01398 m <sup>3</sup>
Gambar	
Alasan pemilihan komponen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tabung refrijeran memiliki kapasitas tekanan yang tinggi.</li> <li>- Tabung refrijeran memiliki massa yang ringan sehingga memudahkan dapat penggunaan.</li> <li>- Tabung refrijeran mudah dimodifikasi.</li> </ul>

#### 4. *One-way Valve*

Fungsi	<i>One-way Valve</i> atau <i>check valve</i> berfungsi agar gas yang telah masuk ke dalam tabung kalibrasi tidak dapat keluar kembali.
Merk	Stucchi NPT <i>Check Valve</i> 810201101.
Kapasitas Tekanan	4 bar
Dimensi	1/4"
Gambar	
Alasan pemilihan komponen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>One-way Valve</i> ini memiliki harga yang lebih murah.</li> <li>- <i>One-way Valve</i> mampu menahan tekanan hingga 4 bar.</li> </ul>


#### 5. *Three-way valve*

Fungsi	Sebagai sambungan masukan oksigen dan nitrogen sehingga mempermudah proses perakitan dan modifikasi tabung kalibrasi.
Gambar	

	
Alasan pemilihan komponen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Harga lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan masukan oksigen dan nitrogen pada dua tempat yang berbeda.</li> <li>- Mempermudah proses perakitan dan modifikasi tabung kalibrasi.</li> </ul>

#### 6. *Pressure Gauge*

Fungsi	Sebagai indikator pembacaan tekanan secara manual.
Merk	Jason
Jangkauan	0 – 4,2 bar
Gambar	

	
Alasan pemilihan komponen	- Kemampuan pembacaan tekanan maksimal sesuai dengan alat kalibrasi yang akan dibuat.


#### 7. Termokopel

Fungsi	Mengukur temperatur gas dalam tabung kalibrasi. Hasil pengukuran temperatur akan digunakan untuk menghitung prosentase oksigen yang berada dalam tabung.
Tipe	Tipe K
Range Pengukuran	-200° C – 1200° C
Gambar	
Alasan pemilihan komponen	- Termokopel tipe memiliki ulir yang memudahkan dalam proses perakitan



	<p>dan modifikasi tabung kalibrasi.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Termokopel memiliki jangkauan pengukuran yang lebar sehingga dapat digunakan pada berbagai macam kondisi.</li> </ul>
--	---

#### 8. Pipa

Fungsi	untuk menyalurkan gas dari tabung oksigen dan nitrogen ke dalam tabung kalibrasi.
Tipe	Clear PVC
Dimensi	Diameter luar = 6 mm Diameter dalam = 4 mm
Range temperatur operasi	-20°C – 50°C
Gambar	
Alasan pemilihan komponen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pipa ini memiliki sifat elastis</li> <li>- Sesuai dengan temperatur operasi</li> <li>- Memiliki harga yang lebih murah.</li> </ul>

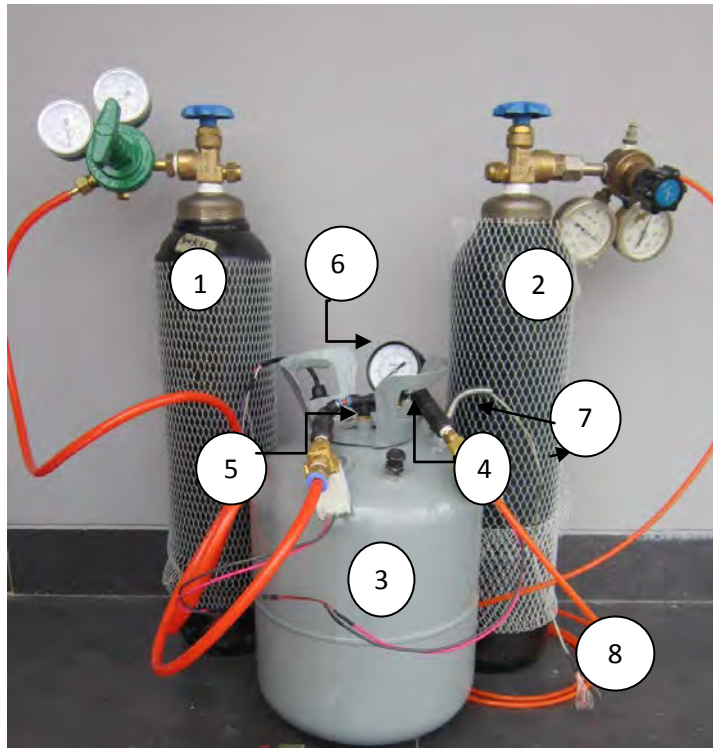
#### 9. Valve Pembuangan

Fungsi	Sebagai untuk mengeluarkan gas yang terdapat pada tabung kalibrasi.
Dimensi	Diameter 6 mm

Gambar	
Alasan pemilihan komponen	<ul style="list-style-type: none"><li>- Dimensi valve pembuangan sesuai dengan pipa yang digunakan.</li><li>- Memiliki harga yang lebih murah</li><li>- Mudah dalam menyambung atau melepas dengan pipa.</li></ul>

### 4.3 Perakitan Komponen

Perakitan merupakan salah satu tahapan dalam rancang bangun alat kalibrasi sensor oksigen. Gambar 4.2 adalah gambar instalasi peralatan yang telah dilakukan perakitan.



Gambar 4.2 Instalasi Peralatan

Keterangan

- 1. Tabung Nitrogen
- 2. Tabung Oksigen
- 3. Tabung Kalibrasi
- 4. *One-way Valve*

- 5. *Three-way Valve*
- 6. *Pressure Gauge*
- 7. Termokopel
- 8. Pipa

Prinsip kerja alat kalibrasi adalah diawali dengan memasukkan gas dari tabung nitrogen nomor 1 ke dalam tabung kalibrasi nomor 3. Gas nitrogen dimasukkan tabung kalibrasi dengan mengatur regulator yang terdapat pada tabung nitrogen. Gas nitrogen dimasukkan melalui pipa nomor 8 dan *one-way valve* nomor 4. Gas yang telah masuk tabung kalibrasi tidak dapat

keluar kembali karena prinsip kerja *one-way valve* adalah mengalirkan fluida dalam satu arah. Tekanan dan temperatur awal dicatat dari penunjukan nilai pada *pressure gauge* dan termokopel.

Kemudian gas oksigen dimasukkan dari tabung oksigen nomor 2 ke dalam tabung kalibrasi nomor 3. Gas oksigen dimasukkan tabung kalibrasi dengan mengatur bukaan regulator yang terdapat pada tabung oksigen. Gas oksigen dimasukkan tabung kalibrasi melalui pipa nomor 8 dan *one-way valve* nomor 4. Tekanan dan temperatur campuran gas dicatat dari penunjukan nilai pada *pressure gauge* nomor 6 dan termokopel yang ditunjukkan oleh nomor 7.

#### **4.3.1 Modifikasi Tabung Kalibrasi**

Salah satu tahapan dalam rancang bangun alat kalibrasi adalah proses perakitan. Perakitan dilakukan dengan merangkai semua komponen yang diperlukan. Tabung kalibrasi yang merupakan tabung refrigeran dimodifikasi agar komponen-komponen yang tersambung langsung dengan tabung dapat terpasang dengan baik. Komponen yang terhubung langsung dengan tabung kalibrasi adalah termokopel, *pressure gauge*, *three-way valve*, dan katub pembuangan.

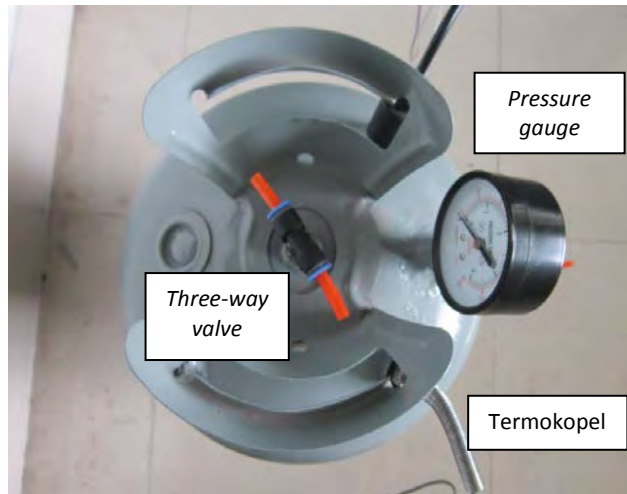
Gambar 4.3 menunjukkan tabung refrijeran yang belum dimodifikasi. Tabung refrijeran memiliki satu buah lubang masukan sehingga perlu dimodifikasi agar komponen-komponen alat kalibrasi dapat dipasang. Gambar 4.4 adalah gambar peletakan komponen pada tabung kalibrasi. *Pressure gauge*, termokopel, dan *three-way valve* sudah tersambung pada tabung refrijeran yang telah dimodifikasi.



(a)

(b)

Gambar 4.3 Tabung refrigeran sebelum dimodifikasi  
a). Tampak depan, b). Tampak atas



Gambar 4.4 Peletakan komponen pada tabung kalibrasi.

Untuk mendapatkan data tekanan dan temperatur, maka tabung kalibrasi harus dilengkapi dengan alat ukur tekanan dan temperatur. Gambar 4.5 menunjukkan letak pemasangan *pressure gauge* dan termokopel pada tabung kalibrasi.



Gambar 4.5 a). *Pressure gauge* pada tabung kalibrasi,  
b) termokopel pada tabung kalibrasi.



Gambar 4.6 *Valve* pembuangan

Langkah pertama dalam memodifikasi tabung adalah menentukan komponen-komponen yang akan dihubungkan secara langsung dengan tabung kalibrasi. Setelah komponen-komponen tersebut ditentukan, selanjutnya adalah mengukur dimensi dari komponen-komponen tersebut. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan diameter ulir yang akan dibuat pada tabung kalibrasi. Ulir yang telah sesuai dengan dimensi komponen kemudian dilas pada tabung kalibrasi. Pastikan semua hasil pengelasan baik dan tidak ada indikasi kebocoran. Saat proses pengelasan selesai, tahapan berikutnya adalah melubangi ulir yang telah dilas. Tabung kalibrasi yang telah dilubangi siap dirakit dengan komponen-komponen alat kalibrasi lainnya.



Gambar 4.7 Tabung kalibrasi hasil modifikasi

Gambar 4.7 adalah gambar tabung kalibrasi yang telah dipasang termokopel, *pressure gauge*, *three-way valve* dan katup pembuangan. *Pressure gauge* dipasang pada bagian atas tabung agar memudahkan dalam pembacaan. Sementara katup pembuangan diletakkan pada bagian bawah dengan tujuan agar memudahkan dalam proses pembuangan gas.

#### 4.3.2 Instrumentasi

##### a. Valve

Alat kalibrasi sensor oksigen memiliki beberapa valve dengan fungsi masing-masing yang berbeda. *Three-way valve* berfungsi sebagai pertemuan aliran yang berasal dari tabung gas yang berbeda. *One-way valve* berfungsi untuk menahan gas yang berada dalam tabung tidak mengalir keluar kembali. Regulator gas berfungsi untuk membuka dan menutup aliran gas yang masuk ke dalam tabung kalibrasi.

Proses perakitan *three-way valve* dilakukan dengan memasang *valve* pada tabung kalibrasi. Perakitan dilakukan dengan sambungan ulir antara *valve* dengan tabung kalibrasi. Gambar 4.8 adalah gambar *three-way valve* yang telah terpasang pada tabung kalibrasi.





Gambar 4.8 *Three-way valve* yang telah terpasang pada tabung kalibrasi

Proses perakitan *three-way valve* dengan *one-way valve* dilakukan dengan menambahkan pipa yang disambungkan di antara keduanya. *One-way valve* harus ditambahkan *fitting* terlebih dahulu agar dapat di sambungkan dengan pipa. Gambar 4.9 menunjukkan *one-way valve* yang telah dipasang *fitting*. Proses penyambungan *three-way valve* dengan *one-way valve* ditunjukkan oleh gambar 4.10.

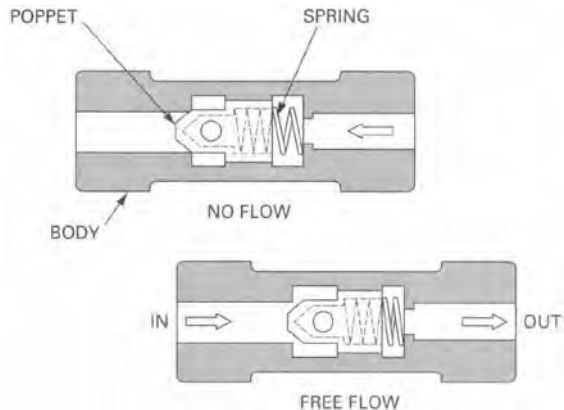


Gambar 4.9 *One-way valve* dengan *fitting*



Gambar 4.10 Proses penyambungan *three-way valve* dengan *one-way valve*.

Pemasangan *one-way valve* bertujuan untuk menahan gas yang telah masuk ke dalam tabung kalibrasi agar tidak keluar kembali. Secara sederhana, cara kerja *one-way valve* dapat dijelaskan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Prinsip kerja *one-way valve* [13].

Pemasangan regulator pada tabung oksigen dan tabung nitrogen dilakukan dengan bantuan tuas. Pastikan tidak ada kebocoran gas pada pemasangan regulator. Gambar 4.11 adalah pemasangan regulator pada tabung oksigen.



Gambar 4.12 Pemasangan regulator tabung oksigen

Proses perakitan terakhir adalah pemasangan pipa yang menghubungkan tabung oksigen dan nitrogen dengan tabung kalibrasi.

#### **b. Pipa**

Proses perakitan yang terpenting adalah proses perakitan pipa yang menghubungkan tabung oksigen dan nitrogen dengan tabung kalibrasi. Pemasangan selang pada tabung kalibrasi dan tabung oksigen dapat dilihat pada gambar 4.13. Sedangkan gambar 4.14 menunjukkan pipa yang telah terpasang pada *oulet* tabung gas oksigen.



Gambar 4.13 Pemasangan pipa pada tabung kalibrasi



Gambar 4.14 Pipa yang telah terpasang pada tabung oksigen

Pipa digunakan untuk menyalurkan gas dari tabung oksigen dan nitrogen ke dalam tabung kalibrasi adalah Clear PVC Tube. Pipa PVC yang digunakan memiliki diameter luar 6 mm dengan ketebalan 2 mm. Range temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai  $55^{\circ}\text{C}$ .

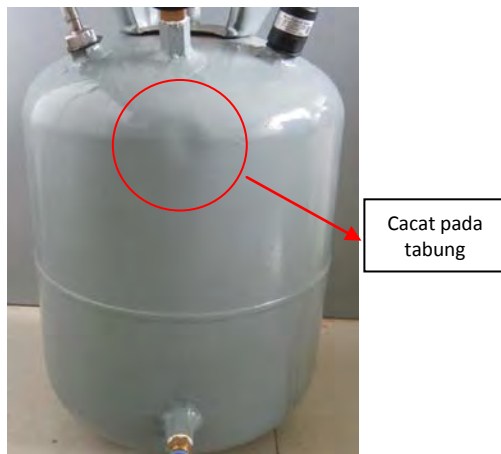
#### 4.4 Pengujian Tabung

Salah satu pengujian yang digunakan di Indonesia adalah SNI 1452:2007[12]. Di dalam standar tersebut, beberapa pengujian seperti di bawah ini dilakukan untuk menjamin bahwa tabung bertekanan dalam kondisi memenuhi syarat. Standar ini digunakan pada tabung LPG dimana tabung tersebut mempunyai tekanan rencana sebesar  $18,6 \text{ kg/cm}^2$ . Salah satu metode pengujian tekanan tabung yang mengadaptasi dari standard yang berlaku antara lain sebagai berikut:

##### 4.4.1 Uji Tampak

Sebelum dilakukan uji tekanan, pengujian yang harus dilakukan adalah pengujian tampak. Berdasarkan SNI 1452:2007 bahwa setiap permukaan tabung baja LPG tidak boleh ada cacat atau kurang sempurna pengerjaannya yang dapat mengurangi kekuatan dan keamanan dalam penggunaannya, seperti: luka gores, penyok, dan perubahan bentuk.

Dari hasil uji pengamatan tabung kalibrasi terdapat adanya ketidaksempurnaan tabung. Terdapat penyok pada tabung kalibrasi. Gambar 4.15 menunjukkan bahwa ada bagian tabung yang mengalami penyok.



Gambar 4.15 Cacat yang terjadi pada tabung

Cacat pada tabung karena penyok masih dapat dikatakan aman jika kedalaman penyok tidak melebihi 25% dari lebar sepanjang area/point. Hasil uji tampak dapat dikatakan aman karena penyok yang terjadi memiliki kedalaman penyok yang kurang dari 25% dari lebar sepanjang area/point.

#### 4.4.2 Uji Kebocoran

Pada pengujian kebocoran, tabung harus diisi dengan media pneumatik, misalnya gas bumi, udara, nitrogen atau dengan sejumlah kecil LPG. Dalam pengujian kebocoran ini, media pneumatik yang diisikan pada tabung kalibrasi adalah udara. Gambar 4.16 menunjukkan persiapan alat uji kebocoran.



Gambar 4.16 Persiapan uji kebocoran

Pengecekan kedapatan gas dilakukan terhadap adanya kebocoran dari setiap bagian dari tabung. Pada SNI 1452:2007 disebutkan bahwa Tabung yang telah dilengkapi dengan valve harus kedap udara/tidak boleh bocor pada tekanan operasi yaitu sebesar  $18,6 \text{ kg/cm}^2$ . Berdasarkan acuan tersebut, pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan operasi yaitu sebesar 2,5 bar.



Gambar 4.17 Pengujian kebocoran

Pengecekan kebocoran harus dilakukan dengan cara direndam keseluruhan ke dalam air atau metode lain yang setara. Pada pengujian ini dilakukan dengan cara merendam tabung ke dalam air. Gambar 4.17 menunjukkan proses pengujian kebocoran. Hasil uji kebocoran diperoleh bahwa tidak terjadi kebocoran pada tabung kalibrasi.

Potensi kebocoran dapat terjadi pada beberapa titik modifikasi, misalnya sambungan pada fitting termokopel, pressure gauge, dan valve pembuangan. Potensi kebocoran tidak terjadi pada tekanan operasi 2,5 bar.

#### 4.3.3 Uji Ekspansi Volumetrik

Uji ekspansi volumetrik dilakukan dengan memberikan tekanan yang dinaikkan secara perlahan sampai tekanan uji tercapai. Berdasarkan SNI 1452:2007, tekanan uji pada pengujian ekspansi volumetrik adalah  $31 \text{ kg/cm}^2$ . Jika mengadaptasi pada standar tersebut diperoleh nilai faktor pengali untuk menentukan besar tekanan yang diberikan pada uji ekspansi.

$$\begin{aligned}\text{Tekanan operasi tabung LPG} &= 18,6 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Tekanan uji ekspansi LPG} &= 31 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Nilai faktor pengali} = \frac{\text{Tekanan uji ekspansi LPG}}{\text{Tekanan Operasi LPG}}$$

$$\text{Nilai faktor pengali} = \frac{31 \text{ kg/cm}^2}{18,6 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Nilai faktor pengali} = 1,66$$

Dengan mengetahui faktor pengali, nilai tekanan uji ekspansi pada tabung kalibrasi dapat diketahui. Nilai tekanan uji ekspansi pada tabung dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Tekanan operasi tabung kalibrasi} = 2,5 \text{ bar}$$

$$\text{Nilai faktor pengali} = \frac{\text{Tekanan uji ekspansi}}{\text{Tekanan Operasi}}$$

$$1,66 = \frac{\text{Tekanan uji ekspansi}}{2,5 \text{ bar}}$$

$$\text{Tekanan uji ekspansi} = 2,5 \text{ bar} \times 1,66$$

$$\text{Tekanan uji ekspansi} = 4,16 \text{ bar}$$

Jadi, pengujian ekspansi volumetrik seharusnya menggunakan tekanan uji sebesar 4,16 bar akan tetapi kemampuan pressure gauge hanya sampai tekanan 4 bar, maka pengujian hanya dilakukan dengan tekanan 4 bar. Gambar 4.18 menunjukkan *pressure gauge* pada pengujian ekspansi.





Gambar 4.18 Tekanan uji ekspansi

Metode pengujian adalah memberikan tekanan tabung yang dinaikkan secara perlahan sampai tekanan uji tercapai. Saat tekanan uji tercapai, tekanan uji ditahan sekurang-kurangnya 30 detik hingga pengujian selesai. Pengecekan perubahan volume dilakukan dengan memasukkan tabung bertekanan 4,0 bar ke dalam air. Gambar 4.19 menunjukkan proses uji ekspansi.



Gambar 4.19 Pengujian ekspansi volumetrik.

Syarat kelayakan pada pengujian ini adalah perubahan volume tabung tidak lebih dari  $1/5000$  dari volume tabung awal. Pada pengujian ekspansi diperoleh hasil bahwa tidak ada perubahan volume yang terjadi pada tabung. Gambar 4.20 menunjukkan volume awal dan volume akhir saat pengujian.

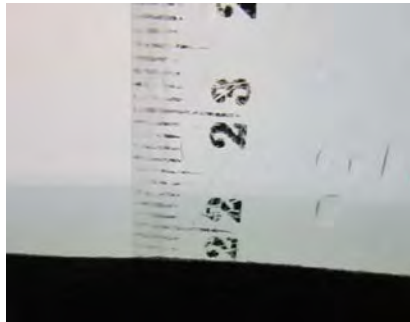


(a).



(b).

Gambar 4.20 a). Volume awal, b). volume setelah 30 detik



Gambar 4.21 Volume bak sebelum tabung dimasukkan dalam bak.

Gambar 4.21 adalah volume bak sebelum tabung dimasukkan dalam bak. Perubahan volume tabung berdasarkan penunjukan penggaris adalah  $28,3 - 22,3 = 6$  cm. Jika perubahan volume yang diizinkan adalah  $1/5000$  kali dari volume awal, maka penunjukan garis pada penggaris yang diizinkan adalah  $60 \text{ mm}/5000 = 0,012$  mm. Untuk menentukan perubahan volume maka diperlukan alat ukur yang memiliki kecermatan dibawah  $0,01$  mm. Perubahan ini tidak dapat diukur oleh jangka sorong atau mikrometer.

Pengujian ekspansi seharusnya dilakukan untuk mengetahui perubahan volume tabung. Pengujian ekspansi telah dilakukan namun karena keterbatasan alat uji maka uji ekspansi memiliki kendala yaitu tidak dapat mengukur perubahan volume. Oleh karena pengukuran yang sulit dilakukan, maka perlu dilakukan dengan cara lain dan menggunakan alat ukur yang memiliki kecermatan yang lebih tinggi.

#### 4.5 Validasi Alat

##### 4.5.1 Perhitungan Kadar Oksigen Pada Alat yang Dibuat

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung kadar oksigen yang tercampur dalam tabung kalibrasi. Perhitungan kadar oksigen didasarkan pada perumusan gas ideal (pers. 2.7) yaitu

$$P V = n \bar{R} T$$

$n$  = jumlah mol gas,

$\bar{R}$  = tetapan umum gas =  $8,31 \times 10^3 \text{ J/kmolK (SI)}$   
 $= 8,31 \text{ J/molK},$

$P$  = tekanan ( $\text{N/m}^2$ ),

$V$  = volume ( $\text{m}^3$ ), dan

$T$  = temperatur (K).

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } P_1 &= 1,0 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,0 \times 0,986923) \\ &= 1,986923 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$T_1 = 27,6^\circ\text{C} = 300,75 \text{ K}$$

$$V = 0,03198 \text{ m}^3$$

$$\bar{R} = \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK},$$

$$P_1 V = n \bar{R} T_1$$

$$\begin{aligned} 1,986923 \text{ N/m}^2 \cdot 0,03198 \text{ m}^3 &= n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 300,75 \text{ K} \\ n_{\text{nitrogen}} &= 0,00002542452 \text{ mol} \end{aligned}$$

Karena gas dalam tabung kalibrasi adalah nitrogen maka  $n$  adalah jumlah mol nitrogen.

$$P_2 = 1,1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} + (1,1 \times 0,986923) \\ = 2,0856513 \text{ N/m}^2$$

$$T_2 = 27,7^\circ\text{C} = 300,85 \text{ K}$$

$$V = 0,03198 \text{ m}^3$$

$$\bar{R} = \text{tetapan umum gas} = 8,31 \text{ J/molK},$$

$$P_2 V = n \bar{R} T_2$$

$$2,0856513 \text{ N/m}^2 \cdot 0,03198 \text{ m}^3 = n \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 300,85 \text{ K}$$

$$n_{\text{total}} = 0,0000266789 \text{ mol}$$

Karena gas dalam tabung kalibrasi merupakan campuran nitrogen dan oksigen maka  $n$  adalah jumlah mol campuran.

$$n_{\text{oksigen}} = n_{\text{total}} - n_{\text{nitrogen}}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000266789 \text{ mol} - 0,00002542452 \text{ mol}$$

$$n_{\text{oksigen}} = 0,0000012537 \text{ mol}$$

Jika jumlah mol oksigen dan nitrogen diketahui maka massa nitrogen dan oksigen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan  $n = \frac{m}{Mr}$

Dimana :  $m$  = massa gas

$Mr$  = massa relatif

Sehingga massa oksigen dan nitrogen dapat dihitung

$$\text{Diketahui: } n_{\text{nitrogen}} = 0,00002542452 \text{ mol}$$

$$Mr = 14$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,00002542452 \text{ mol} \times 14$$

$$m = 0,0003559432 \text{ gr}$$

$$\text{Diketahui: } n_{\text{oksigen}} = 0,0000012537 \text{ mol}$$

$$Mr = 16$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 0,0000012537 \text{ mol} \times 16$$

$$m = 0,0000200592 \text{ gr}$$

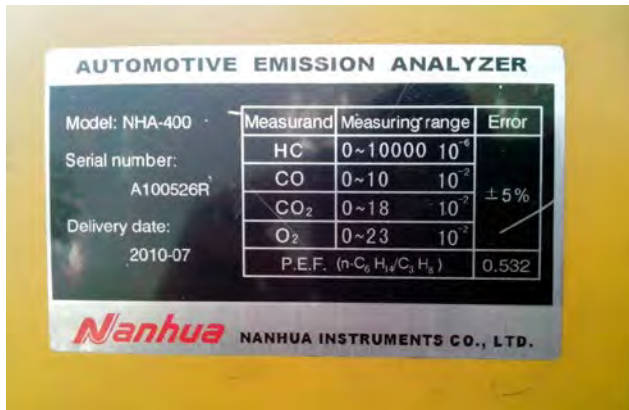
$$\begin{aligned} \text{Kadar oksigen} &= \frac{m_{\text{oksigen}}}{m_{\text{oksigen}} + m_{\text{nitrogen}}} \\ &= \frac{0,0000200592}{0,0000200592 + 0,002559943} \\ &= 0,053348 \\ &= 5,33 \% \end{aligned}$$

#### 4.4.2 Validasi Alat

Validasi alat kalibrasi dilakukan untuk mengetahui ketelitian dari alat yang telah dibuat. Validasi alat kalibrasi ini dilakukan dengan membandingkan dengan alat ukur kadar oksigen yang lain. Alat ukur kadar oksigen sebagai pembanding adalah alat *Automotive Emission Analyzer* Nanhua tipe NHA-400 milik Dinas Perhubungan Kota Surabaya. Gambar 4.23 adalah gambar alat uji emisi Nanhua tipe NHA-400.



Gambar 4.22 Alat uji emisi



Gambar 4.24 Spesifikasi alat uji emisi

Alat uji emisi Nanhua tipe NHA-400 milik Dinas Perhubungan Kota Surabaya memiliki kemampuan pembacaan kadar oksigen 0-23% dengan resolusi 0,01%. Spesifikasi alat uji emisi dapat ditunjukkan oleh Gambar 4.24. Prinsip kerja dari alat tersebut adalah menghisap gas yang akan diukur kadarnya. Gas dihisap melalui probe yang terhubung dengan alat uji emisi. Gas tersebut kemudian dibaca oleh sensor yang berada di dalam alat uji emisi.

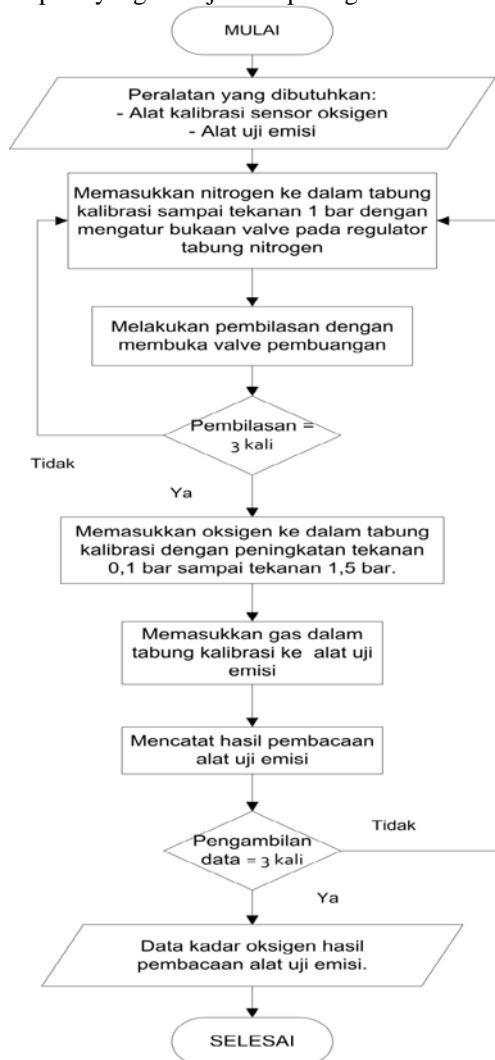
#### a. Metode Validasi

Metode validasi yang dilakukan adalah dengan membandingkan kadar oksigen hasil perhitungan dengan pembacaan kadar oksigen oleh alat uji emisi *Automotive Emission Analyzer* Nanhua tipe NHA-400. Langkah-langkah validasi adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan dan merakit peralatan seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.3.
2. Setelah semua peralatan siap, langkah selanjutnya adalah mengatur bukaan regulator pada tabung oksigen dan nitrogen.

3. Selanjutnya adalah melakukan pembilasan tabung kalibrasi menggunakan gas nitrogen sampai tekanan 1,0 bar sebanyak tiga kali pembilasan.
4. Pengambilan data pertama dilakukan pada tekanan 1,0 bar dengan 100% nitrogen.
5. Saat mencapai tekanan 1,0 bar kemudian gas pada tabung kalibrasi dikeluarkan melalui valve pembuangan.
6. Gas yang keluar dari valve pembuangan dikondisikan agar gas luar tidak masuk. Gas yang keluar dari valve pembuangan akan dihisap oleh *probe* alat uji emisi.
7. Data kadar oksigen diambil pada saat pembacaan uji emisi stabil.
8. Lakukan pembilasan tabung kalibrasi menggunakan gas nitrogen sampai tekanan 1,0 bar sebanyak tiga kali pembilasan.
9. Pengambilan data kedua dilakukan dengan memasukkan nitrogen sampai tekanan 1,0 bar kemudian memasukkan oksigen sampai tekanan 1,1 bar.
10. Saat mencapai tekanan 1,1 bar kemudian gas pada tabung kalibrasi dikeluarkan melalui valve pembuangan.
11. Ulangi langkah 6-8.
12. Pengambilan data ketiga dilakukan dengan memasukkan nitrogen sampai tekanan 1,0 bar kemudian memasukkan oksigen sampai tekanan 1,2 bar.
13. Ulangi langkah diatas dengan mengubah jumlah oksigen yang masuk dalam tabung kalibrasi setiap perubahan 0,1 bar.
14. Lakukan pengambilan 6 data yaitu pada tekanan 1,0-1,5 bar.

Langkah-langkah pengambilan data tersebut dapat digambarkan pada diagram alir seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.25.



Gambar 4.25. Diagram alir pengambilan data validasi



### b. Hasil Percobaan Pengukuran

Hasil percobaan pengukuran menggunakan alat uji emisi *Automotive Emission Analyzer* Nanhua tipe NHA-400 diperoleh data hasil kadar oksigen pada beberapa tingkat tekanan. Percobaan pengukuran hanya dilakukan pada beberapa titik karena keterbatasan alat ukur uji emisi yang hanya mampu mengukur kadar oksigen 0-23%. Hasil percobaan pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil percobaan pengukuran

P (bar)	Rata-rata % O <sub>2</sub> hasil perhitungan	Percobaan Pengukuran				
		Data 1	Data 2	Data 3	Rata-rata	Simpangan
1	0	0,82	0,69	0,73	0,7467	0,7466
1,1	5,345	4,94	5,20	4,28	4,8067	0,5383
1,2	10,157	9,84	9,90	9,56	9,7667	0,3903
1,3	14,480	14,08	14,86	13,20	14,046	0,4333
1,4	18,420	17,87	18,48	18,80	18,383	0,0366
1,5	22,000	22,24	22,52	22,70	22,486	0,4866
	Rata-rata simpangan					<b>0,4386</b>
	Standar deviasi					<b>0,2328</b>

Tabel 4.2 menunjukkan data hasil validasi alat uji emisi dan data setpoint alat kalibrasi. Data hasil validasi dan data setpoint memiliki nilai yang berbeda. Hal ini dikarenakan nitrogen dan oksigen belum tercampur dengan baik sehingga ada perbedaan dalam proses pembacaan alat uji emisi. Data validasi diambil 3 kali untuk masing-masing tingkat tekanan. Dari data yang diambil, diperoleh nilai rata-rata simpangan error sebesar 0,4386 dan standar deviasi 0,2328. Dari standar deviasi dapat diperoleh nilai kecermatan yaitu dengan  $\pm 3$  sigma.

$$\begin{aligned}\text{Kecermatan} &= \frac{6 \times 0,2328}{22} \\ \text{Kecermatan} &= 0,06349\end{aligned}$$

$$\text{Kecermatan} = 6,349 \%$$

Jadi kecermatan alat kalibrasi sensor oksigen yang telah dibuat adalah 6,349 %.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Alat kalibrasi sensor oksigen yang telah dibuat memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Kapasitas pembacaan kadar oksigen = 0-22%
- Tekanan operasi = 1,5 bar
- Temperatur operasi = 27-29°C
- Kecermatan pengukuran = 6,34 %

Tabung kalibrasi telah dilakukan pengujian tabung bertekanan yang mengadaptasi SNI 1452:2007. Pada uji kebocoran diperoleh hasil bahwa tabung kalibrasi tidak mengalami kebocoran pada tekanan operasi yaitu 2,5 bar. Pada uji ekspansi volumetrik diperoleh hasil bahwa tidak ada perubahan volume yang terjadi pada tabung dengan tekanan 4,0 bar jika dibandingkan dengan spesifikasi tekanan maksimum tabung refrigeran. Hasil validasi alat kalibrasi sensor dengan alat uji emisi *Automotive Emission Analyzer* Nanhua tipe NHA-400 didapatkan nilai rata-rata penyimpangan sebesar 0,438 %.

#### **5.2 Saran**

Saran dari penelitian ini untuk pengembangan alat selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Uji ekspansi volumetrik membutuhkan alat ukur yang memiliki kecermatan yang lebih tinggi. Alat ukur yang digunakan pada uji ekspansi volumetrik harus memiliki resolusi pengukuran dibawah 0,01 mm.
2. Alat kalibrasi sensor oksigen yang telah dibuat perlu adanya *re-design* terutama pada komponen-komponen yang digunakan agar mampu digunakan pada sensor oksigen yang memiliki temperatur operasi yang tinggi.

*Halaman sengaja dikosongkan*

## **LAMPIRAN**

### **PETUNJUK PENGGUNAAN ALAT KALIBRASI SENSOR OKSIGEN**

#### **A. PERSIAPAN INSTALASI PERALATAN**

1. Menyiapkan peralatan kalibrasi. Peralatan yang dibutuhkan adalah tabung kalibrasi, tabung oksigen, tabung nitrogen, rangkaian pengendali, komputer, dan sumber tegangan.



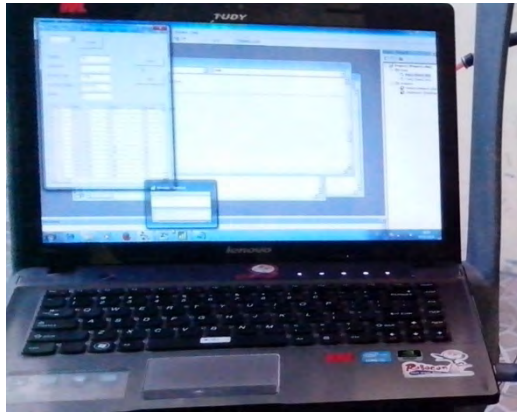
Gambar 1. Tabung kalibrasi yang telah terpasang *pressure gauge*, *pressure transmitter*, *three-way valve*, sensor oksigen, termokopel, dan katup pembuangan.



Gambar 2. Tabung oksigen dan nitrogen



Gambar 4. Rangkaian pengendali

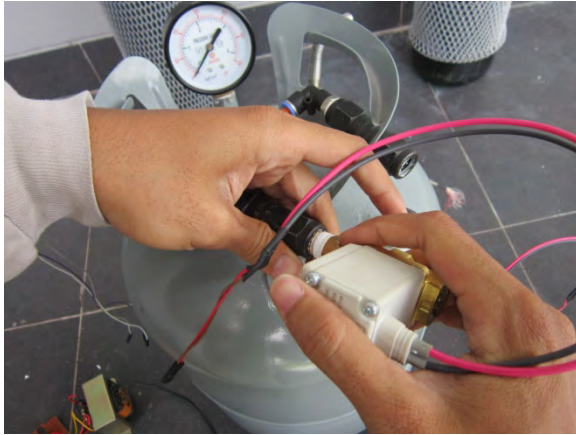


Gambar 6.5. Komputer

2. Setelah semua peralatan siap, langkah selanjutnya adalah memasang *one-way vale*, *solenoid valve*, dan pipa pada tabung kalibrasi.



Gambar 6.6 Proses penyambungan *three-way valve* dengan *one-way valve*.

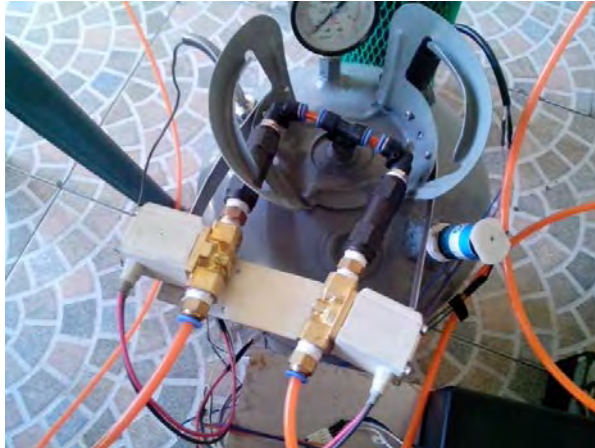


Gambar 6.7. Proses pemasangan *solenoid valve*.



Gambar 6.8 Pemasangan pipa pada tabung kalibrasi.





Gambar 9. Tabung kalibrasi yang telah terpasang komponen.

3. Menyambungkan rangkaian pengendali ke USB port komputer.



Gambar 10. Rangkaian pengendali terhubung pada komputer.



Gambar 11. Instalasi peralatan siap digunakan

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam persiapan instalasi peralatan adalah sebagai berikut:

- Pastikan semua komponen terhubung dengan baik.
- Pastikan tidak ada kebocoran pada setiap sambungan dan pada tabung kalibrasi.
- Gunakan sumber tegangan 12 volt DC untuk penguat sensor oksigen dan sumber tegangan 220 volt AC untuk driver sebagai penggerak aktuator.
- Pastikan komputer telah terinstall software Visual Basic 6.0.

## **B. PENGGUNAAN ALAT KALIBRASI**

1. Atur bukaan valve pada regulator tabung oksigen dan nitrogen.



Gambar 12. Pengaturan bukaan valve.

2. Lakukan pembilasan sebanyak tiga kali. Masukkan nitrogen ke dalam tabung kalibrasi sampai tekanan 1 bar, kemudian nitrogen yang berada di dalam tabung dikeluarkan melalui katup pembuangan.



Gambar 1.3 Katup pembuangan

3. Buka software Visoal Basic 6.0 pada komputer.  
Selanjutnya pilih COM 3, lalu klik tombol Connect.

ID	date	sensor1	sensor2

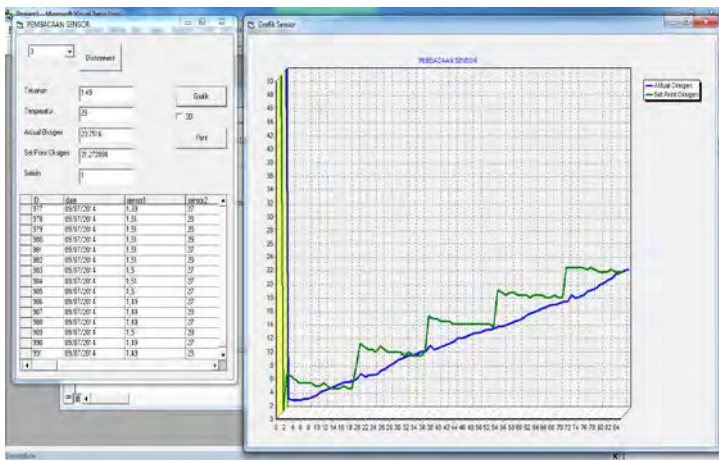
Gambar 13. Tampilan Visual Basic 6.0

4. Nyalakan rangkaian pengendali dengan menekan tombol on/off.



Gambar 14. Tombol on/off pada rangkaian pengendali.

5. Setelah itu, alat kalibrasi akan berjalan secara otomatis. Selama pengambilan data berlangsung, tampilan di komputer akan menunjukkan seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Tampilan sistem pengukuran.

6. Setelah alat berhenti maka untuk menampilkan data hasil kalibrasi adalah dengan klik tombol Print pada tampilan sistem pengukuran.

ID	date	Tekanan	Suhu	Sensor O2	Set Oksigen	Selisih
1570	00/01/1900	1,07	28	6,386	4,06	-2,3
1571	00/01/1900	1,2	27	8,564	9,84	1,27
1572	00/01/1900	1,18	28	10,74	8,98	-1,7
1573	00/01/1900	1,18	28	11,01	8,98	-2,0
1574	00/01/1900	1,29	28	14,82	13,6	-1,2
1575	00/01/1900	1,28	28	15,36	13,1	-2,2
1576	00/01/1900	1,4	27	16,73	17,9	1,17
1577	00/01/1900	1,38	28	19,18	17,1	-2,0
1578	00/01/1900	1,38	27	19,45	17,1	-2,3
1579	00/01/1900	1,49	28	21,63	21,2	-0,4
1580	00/01/1900	1,48	27	23,53	20,9	-2,6
1581	00/01/1900	1,48	28	24,35	20,9	-3,4

Gambar 16. Data yang siap dicetak

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama Fatkhur Rohman dilahirkan di Jombang pada 7 Maret 1991. Penulis menyelesaikan masa studinya Sekolah Dasar Negeri II Ngusikan-Jombang pada tahun 2003, dilanjutkan ke SMPN 1 Ngusikan-Jombang yang lulus pada tahun 2006. Massa studi di sekolah menengah atas diselesaikannya pada tahun 2009 di SMAN 1 Gedeg-Mojokerto. Penulis melanjutkan studi tingkat sarjana di Jurusan Teknik Mesin ITS pada tahun 2009.

Penulis sadar bahwa ilmu yang diperoleh di bangku kuliah saja tidak cukup sebagai bekal untuk menghadapi dunia pasca kampus. Menyadari hal itu, selama kuliah penulis aktif di beberapa organisasi intra kampus. Penulis pernah menjabat sebagai staf keilmiahan dan bendahara umum di LDJ Ash-Shaff Teknik Mesin ITS. Selain itu, penulis juga aktif di Koperasi Mahasiswa dr. Angka ITS. Selama menjadi pengurus Kompa, beberapa telah diemban penulis, seperti: staf administrasi umum, asisten direktur personalia, dan direktur utama.

Untuk semua masukan informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email [fatkhur.m52@gmail.com](mailto:fatkhur.m52@gmail.com).